

研究報告書

「有機薄膜系太陽電池に応用可能な n 型半導体材料の開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成22年10月～平成26年3月

研究者: 家 裕隆

1. 研究のねらい

本研究では有機合成化学・構造有機化学を基盤とした化学分野の領域から、有機薄膜系太陽電池(OPV)における電子受容性(n 型)の新材料開拓を行うことを目的とする。

有機半導体を活性層とする有機エレクトロニクスは次世代の電子デバイスとして注目されている。この一つとして、OPV に向けた材料開発が近年盛んに行なわれている。OPV を駆動させるためには、キャリアが正孔である p 型半導体材料と電子である n 型半導体材料の両方が不可欠である。このうち有機 p 型半導体材料は開発が精力的に行なわれており、高性能の材料も見いだされつつある。これに対して、有機薄膜系太陽電池に応用可能な n 型半導体材料は実質フラレン誘導体のみであり、フラレンに代わりうる n 型半導体材料の設計指針は確立されていない。このような状況において、次世代太陽電池の実現に向けた新機軸の n 型半導体材料の開拓が切望されている。そこで本研究では、良好な電子移動度と光吸収能、分子構造の精密な修飾が容易等の優れた特徴を併せ持つ π 電子系分子に着目し、独創的発想に基づく新規なアプローチで n 型 OPV 材料の開発を目指す。さらに、分子構造—基礎物性—電子輸送特性—OPV 機能の相関関係を解明し、新たな分子設計指針を確立させることで、将来の実用化に向けた材料開発における基盤技術の確立、新技術の創製に貢献する。

2. 研究成果

(1) 概要

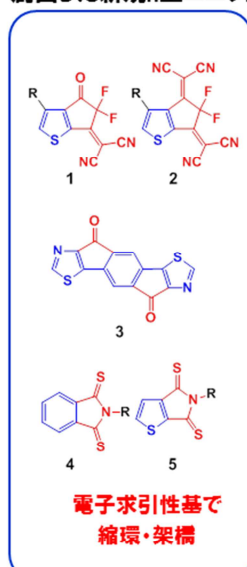
OPVに向けたn型半導体材料の開発は遅れている。これは、電子輸送に適した π 電子系が限られている事、および、p 型半導体材料と n 型半導体材料を混合して構成されるバルクヘテロ接合 OPV においては効率的な電子輸送経路の構築が困難である事に起因している。そこで、これらの課題を克服することを目的として、本研究では精微な物性チューニングが比較的容易で優れた光・電子特性を持つ π 電子系分子を用いた新規 n 型半導体材料の開発を行なった。具体的には、研究テーマ A で“電子求引性基による縮環・架橋構造”を特徴とする n 型ユニットを開発し、これらのユニットを含む新規n型 π 電子系分子の系統的な創出を達成した。研究テーマ B で n 型 π 電子系分子の基礎物性と電子輸送能評価を行った結果、新規ユニットに基づく特異な物性を明らかにすると共に、最高で $0.39 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の優れた電子移動度の発現に成功した。研究テーマ C で、フラレン誘導体のように異方性のない立体構造の π 電子系分子を開発する事ができれば新たな有機 n 型半導体材料になるとの作業仮説の基に、3 次元構造の n 型 π 電子系分子の合成を達成した。研究テーマ D で、3 次元構造に起因する特徴的な物性を明らかにし、OPV における光電変換効率(PCE)の大幅な向上を観測した。この結果から、分子構造を3次元的に拡張することがn型 π 電子系分子をOPV 応用する設計指針となることを実証した。また、分子構造と薄膜物性と光電変換特性との相関を明らかにすることで、ポリ(3-ヘキシルチオフェン) (P3HT)と n 型 π 電子系分子の OPV で 2.05%の PCE も達成した。

(2) 詳細

(1) 研究テーマA「新規 n 型 π 電子系分子の合成」

有機薄膜系太陽電池(OPV)への応用を目指した n 型半導体材料に関しては、フラーレン誘導体の開発が先行している。一方、OPV の n 型半導体材料として π 電子系分子を用いることができれば、誘導体合成が比較的容易、合成コストが安価、フラーレン誘導体に比べて光吸収域が広い等の特徴を活かせる点で、新基軸の材料創出につながる事が期待される。この点から、電子求引性基を導入して分子の最低空軌道(LUMO)レベルを低下させた π 電子系分子が有望視されている。しかし、実際に n 型特性を発現する π 電子系自体が限られている。そこで研究テーマ A では、より効果的に n 型特性を発現させる材料開発の観点から、電子求引性基の電子的効果を最大限に活かすと同時に、 π 電子系への導入による立体障害を抑える設計指針“電子求引性基による縮環・架橋構造”を特徴とする n 型ユニットの創出に注力した。その結果、ジシアノメチレン基導入シクロペンテン縮環チオフェン誘導体(1, 2)、カルボニル架橋含チアゾール縮合多環化合物(3)、縮環チオイミド化合物(4, 5)等の新規 n 型ユニットの開発に成功した(Fig. 1)(特許出願 2-8, 論文 1, 3-5)。さらに、縮環・架橋型ユニットを含む新規 n 型 π 電子系分子の系統的な創出も達成した。中でも、環状チオイミドを導入した π 電子系分子は報告例がないことから、分子構造—基礎物性の解明に興味を持たれる化合物である。

創出した新規n型ユニット



n型 π 電子系分子を系統的に開発

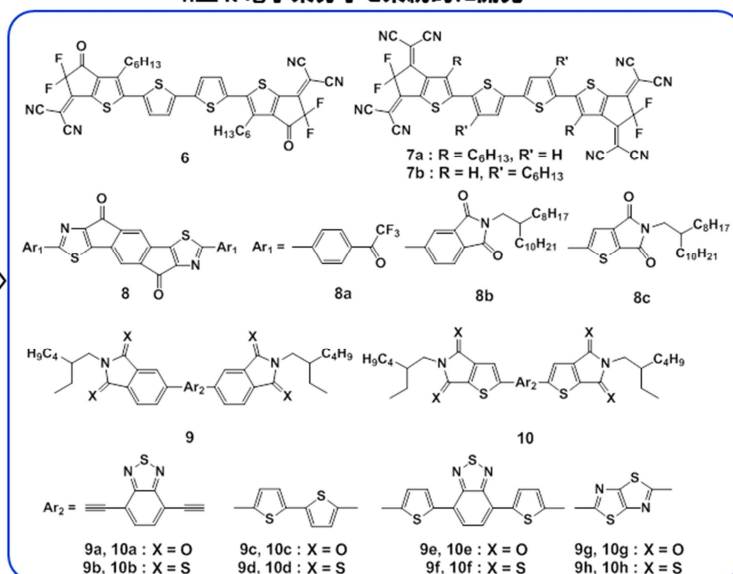


Fig. 1 本研究で開発した新規化合物

(2) 研究テーマB「基礎物性と電子輸送能の評価」

テーマ A で創出した化合物は全て新規物質であることから、その基礎物性と電子輸送能に興味を持たれる。そこで、基礎物性として熱特性、光・電子物性、電気化学特性、薄膜物性の評価を行なった、電子輸送能は有機電界効果トランジスタ(OFET)による移動度で評価した。本研究で全ての化合物の評価を行なったが、興味深い知見が得られた結果を以下に示す。縮環イミド・チオイミド導入分子(9a-9h): 環状チオイミドを導入した π 電子系化合物(9b)は、対応する環状イミド誘導体(9a)に比べて LUMO レベルが低下する傾向が明らかとなった。これを

反映して、HOMO-LUMO ギャップが狭くなった結果、**9b** は長波長域まで光吸収特性を示した。塗布法で作製したチオイミド **9b** の薄膜はイミド **9a** より低い結晶性を示したが、OFET において **9b** の方が高い電子移動度を示した。これらの特性は **9a-9h** の全てで同様の傾向を示した。移動度に着目すると、チオイミド誘導体では対応するイミド誘導体と比べて 1~2 桁の向上が見られ、**9h** において最高 $0.011 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の電子移動度が観測された (Fig. 2(a))。この薄膜物性と OFET 特性の相関は、一般的な傾向と反対であった。これらの結果から、環状チオイミドユニットが、LUMO レベルの低下とアモルファス膜での硫黄原子による分子間軌道相互作用の増加に寄与する結果、電子移動度の向上に有効となることが明らかとなった (論文 1)。

カルボニル架橋分子 (8a): カルボニル架橋含チアゾール縮合多環ユニット (**3**) の特性を明らかにするため、サイクリックボルタンメトリー (CV) 測定で **8a** の LUMO レベルを見積もったところ、 -3.79 eV の低い LUMO レベルを有していることが示唆された。また、**8a** の X 線結晶構造解析から高い共役平面性と密な面間距離 (3.38 \AA) を持つことが明らかとなった (Fig. 2(b))。そこで、**8a** の薄膜を蒸着法で作製し、OFET で電子輸送特性の評価を行った結果、真空中で $0.39 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の優れた電子移動度を示した。更に、大気曝露下においても高い性能を保持していた ($0.14 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)。これらの結果から、カルボニル架橋ユニット **3** の π 電子系への導入が、低い LUMO レベルと薄膜内での密な分子配列の形成に寄与することで、 n 型特性と大気安定性の向上に有効に機能することが明らかとなった (論文 3)。

ジシアノメチレン縮環分子 (7): ジシアノメチレン縮環分子 (**7a, 7b**) は可視光領域の $500 \sim 700 \text{ nm}$ に吸収を示した。CV 測定から、 -4.1 eV を下回る低い LUMO レベルを有することが示唆された。興味深いことに、塗布法で作製したチオイミド **7b** の薄膜は結晶性を有していたのに対して、**7a** はアモルファス膜であった。この結果は、アルキル基の導入位置を変えることで分子配列が制御できることを示している。この薄膜の電子移動度を OFET で評価したところ、**7b** の方が一桁高い移動度を示すものの、**7a, 7b** のいずれも真空中と大気曝露化で同レベルの n 型挙動を示すことを見いだした。これらの結果から、ジシアノメチレン縮環ユニットが、 π 電子系の LUMO レベルを効果的に低下させることに起因して酸素・水に対して安定な還元種を形成することで、 n 型特性と大気安定性の向上に有効に機能することが明らかとなった (論文 4)。

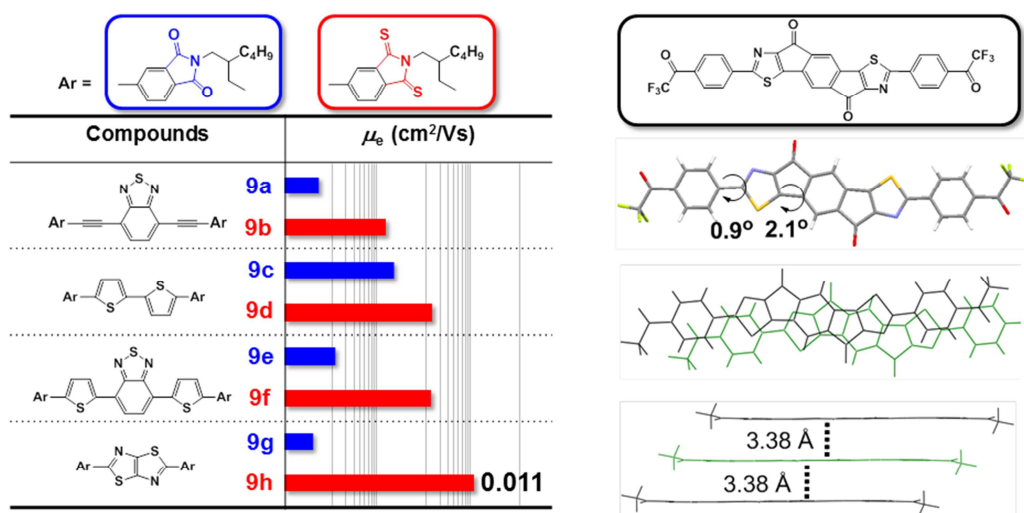


Fig. 2 (a) 縮環イミド、チオイミド分子 **9a-9h** の構造と電子移動度 (b) **8a** の構造と X 線構造解析

(3) 研究テーマC「3次元構造の π 電子系分子の合成」

前述のとおり、OPV に向けた有機 n 型半導体材料は開発途上の段階である。これは、電子輸送に適した π 電子系が限られている事に加えて、p 型半導体材料と n 型半導体材料を混合して構成されるバルクヘテロ接合 OPV においては効率的な電子輸送経路の構築が困難である事にも起因している。この観点から、フラーレンのように異方性のない立体構造の n 型 π 電子系分子を開発する事ができれば、新基軸の有機 n 型 OPV 半導体材料になるとの作業仮説をたてた。これを実証することを目的として、テトラフェニルメタン骨格、あるいは、環状シロキサン構造を用いた 3 次元構造の化合物に着目し、典型的な電子輸送部位であるペリレンカルボキシビスイミド(PDI)を末端に導入した化合物 11,12 を設計した。11 は、中心骨格のテトラヨード体と PDI を有するフェニルボロン酸エステルとの鈴木カップリング反応で合成することができた。12 は、 $\text{PDI}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OEt})_3$ を THF 溶液中、 $n\text{-Bu}_4\text{NF}$ で処理する事で合成することに成功した(Fig. 3) (特許出願 1, 論文 2)。さらに、研究テーマ A で開発したジシアノメチレン縮環ユニット 2, 3 を含む 3 次元構造の化合物 13, 14 の合成も達成した(特許出願 5)。

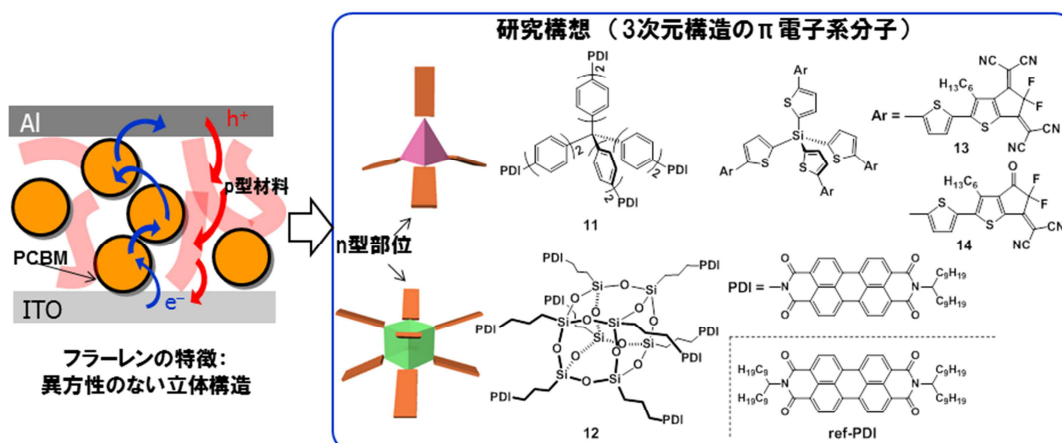


Fig. 3 作業仮説、および、本研究で開発した3次元構造の新規n型 π 電子系分子

(4) 研究テーマD「化学構造－基礎物性－太陽電池機能相関の解明」

研究テーマ C で開発した 3 次元化合物 11,12 の蛍光スペクトル(PL)測定を行なったところ、11 は参照化合物 ref-PDI より蛍光強度が低下し、12 は ref-PDI に比べて蛍光極大が長波長シフトしていた(Fig. 4(a))。また、CV 測定を行なったところ、11,12 いずれにおいてもブロードな還元波が観測された。これらの結果から、3 次元構造の構築に伴って分子間あるいは分子内での相互作用が発現することが示唆された。そこで、P3HT を p 型半導体材料、11,12 を n 型半導体材料としたバルクヘテロジャンクション型の OPV 素子で評価を行なった。素子は典型的な ITO/PEDOT:PSS/active layer/LiF/Al の構造で作製し、n 型半導体材料の性能を同一条件下で比較した。その結果、11,12 のいずれの化合物からも光電変換特性を観測することができた(Fig. 4(b))。中でも、12 を用いた場合に最も高い 0.18% の PCE が得られ、参照となる平面構造分子 ref-PDI(0.12%) より性能が大きく向上することを見いだした。性能が向上した要因を明らかにするため OFET 測定を行なったところ、11,12 はいずれも 3 次元構造に起因する低い分子配列にも関わらず、電子輸送特性を示した。さらに、表面自由エネルギー(SFE)測定において、11(17.0 mJ/m²)、12(20.0 mJ/m²)は ref-PDI(14.7 mJ/m²) よりも大きいことも明らかとなっ

た。同条件でのフラーレン誘導体(PC₆₁BM)とP3HTのSFEはそれぞれ、33.7, 9.7 mJ/m²であることから、SFEが大きいn型分子の方がP3HTとの混和性において有利に機能したと示唆される。これらの結果から、n型π電子系分子をOPV材料へ応用する設計指針として、分子構造を3次的に拡張することが有効であることが実証できた(特許出願1, 論文2)。一方、13, 14については、これらの低いLUMOレベルとマッチしたp型材料を探索している状況である(特許出願4, 8)。実際、ジシアノ縮環チオフェンの低いLUMOレベルを反映して、7bはPC₆₁BMをp型材料に用いることで0.2%を越えるPCEが得られることを見いだしている(論文投稿中)。

研究テーマAで創出した化合物に関しても、P3HTをp型半導体として用いたバルクヘテロジャンクション型のOPV素子で光電変換特性の評価を行った。その結果、9aを用いた場合に1.58%の良好なPCEが得られた(論文1)。そこで、分子構造と薄膜物性と光電変換特性との相関関係について明らかとするため、このπ電子系骨格を用いて、末端基が異なる電子受容性化合物15-19を開発し、系統的に評価した。その結果、化合物薄膜のX線回折測定と紫外可視吸収スペクトル測定から、末端基が嵩高くなるにつれて薄膜の結晶性が低下することが示唆された。一方、P3HTとの混合膜を活性層に用いたOPVにおいては、結晶性の低いn型化合物の方が高い特性を示し、17が最も高い2.05%のPCEを示した。この原因を明らかとするため、化合物薄膜のSFEを測定したところ、短絡電流密度(J_{sc})との間に相関が得られた(Fig. 4(c))。この相関が分子設計指針の確立の一つの足がかりになるのではないかと期待している(論文投稿準備中)。

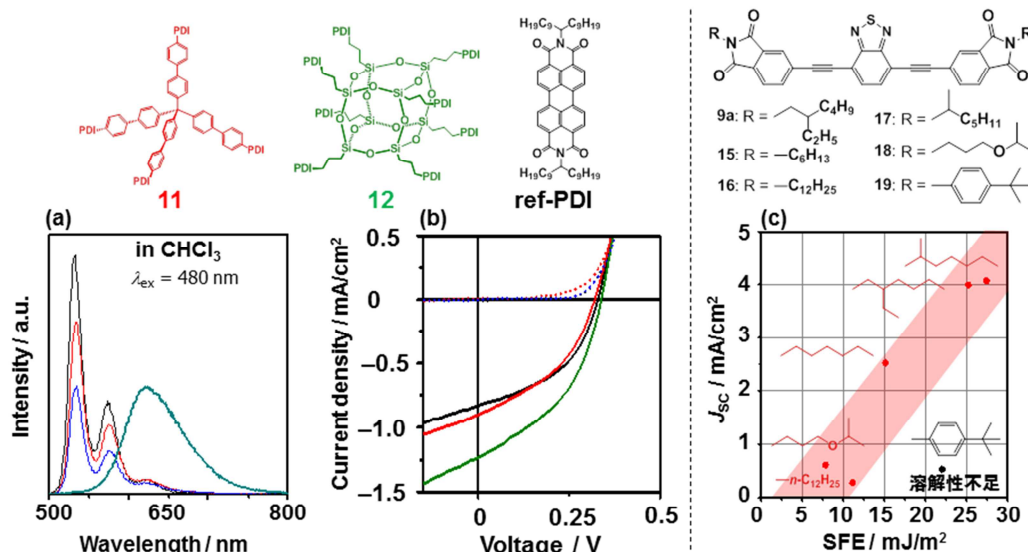


Fig. 4 (a) PL スペクトル、(b) OPV特性 (c) J_{sc} とSFEの相関

3. 今後の展開

本研究を遂行した結果、n型のπ電子系分子を有機薄膜系太陽電池に応用するための設計指針として、(1)p型半導体材料にマッチしたエネルギーレベル、(2)薄膜における電子輸送特性、(3)p型半導体材料との混和性、の3点を兼ね備えることが重要であることが明らかとなった。本研究ではp型半導体材料として最も典型的なP3HTを用いた。しかし、今後は高性能のD-A型ポリマーや低分子材料を用いた研究へと展開することが不可欠である。上記のn型半導体材料の設計指針は、p型半導体材料によって変わるものではない。従って、本研究の化合物開発

で蓄積した知見から十分に分子設計が可能であるので、今後、加速的に研究を推進していく。

4. 評価

(1) 自己評価

n 型 OPV 材料開発の経験が実質的にない状態でさきがけ研究を開始したが、最終的には材料開発から素子評価までを一貫して行なうことができるようになり、創出した分子で光電変換特性を得ることに成功した。4つの研究項目をいずれも遂行し、n 型特性の発現に有効な π 電子系分子の開発や、3次元構造の n 型分子での本研究の作業仮説を実証することができた。さらに、本研究で開発した化合物群の分子構造、基礎物性、薄膜物性、電子輸送特性、光電変換特性の相関関係を解明し、これで得た知見を基に、n 型 OPV 材料の開発に向けた設計指針を見いだすことができた。一方、課題として、研究期間内に光電変換効率の向上に向けた指針を次の材料開発へ十分にフィードバックできなかったことが挙げられる。この点は、今後の研究における課題として、高性能 n 型 OPV 材料の開発を引き続き継続したい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

本研究では、良好な電子移動度と光吸収能、ならびに分子構造の精密な修飾が容易等の優れた特徴を併せ持つ n 型 π 電子系分子に着目し、有機薄膜太陽電池への適用が期待されるフラレン代替可能な新規 n 型有機半導体の開発を目指している。

家研究者は、自身の独創的な発想による分子設計に基づいて合成した有機化合物を用いた太陽電池素子の変換効率測定に注力した。具体的な研究テーマとして、「新規 n 型 π 電子系分子の合成」から、「基礎物性と電子輸送能の評価」、「3次元構造の π 電子系分子の合成」、更には「化学構造－基礎物性－太陽電池機能相関の解明」へと着実に実験的検討を進めた。また、p 型半導体と n 型半導体の表面自由エネルギーの差と変換効率との関係を見出すなどの新たな知見も得られた。 π 電子系分子の開発においては、電子吸引性基による縮環・架橋構造を特徴とする n 型ユニットの創出に注力して、新規 n 型 π 電子系分子を合成し、その新規 n 型 π 電子系の移動度、HOMO-LUMO レベル等の基礎物性の蓄積や 3次元 n 型材料の合成に成功し、高効率化のためには3次元構造化が有効であることを明らかにした。これまで n 型有機半導体材料の開発は非常に難しい状況のなかにあつて、種々の n 型材料を合成し、デバイスまで作製して、ほぼ計画通りに種々の材料開発に取り組み、また、論文、特許など多くの外部発表を行ったことは評価できる。

一方、合成した新規 n 型有機半導体を用いた有機薄膜太陽電池の高効率化には至っていないので、これまでに得られた知見を詳細に検討し、新しいデバイス構成や材料を創出することにより、新規な n 型半導体を用いて有機薄膜太陽電池の高効率化を達成してもらいたい。有機電子デバイスには n 型半導体材料の種類を増やすことも重要な研究項目であり、引き続き研究を進めて欲しい。そして、これまでに確立した π 電子系分子の合成を基本として、基礎物性-太陽電池特性の一貫評価方法を利用して、より高性能の n 型有機半導体の開発を推進してほしい。有機太陽電池の n 型の有機半導体はフラレン類がほとんどを占めている状態であるが、フラレンを越える有機半導体を開発できればその影響は大きく、今後に期待したい。また、p 型半導体材料として、P3HT 以外の p 型材料との組み合わせについても検討し、太陽

電池の構成材料として期待されるナノ構造設計などを組み入れて、化学構造－基礎物性－太陽電池機能相関の解明を推し進め、優れた p 型、n 型材料を組み合わせ、高効率な有機薄膜太陽電池を開発できることを目指して欲しい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Y. Ie, M. Karakawa, S. Jinnai, H. Yoshida, A. Saeki, S. Seki, S. Yamamoto, H. Ohkita, Y. Aso, “Electron-donor Function of Methanofullerenes in Donor-Acceptor Bulk Heterojunction Systems” Chem. Commun., 2014, 50, 4123-4125.
2. Y. Ie, S. Jinnai, M. Nitani, Y. Aso, “Arenedithiocarboxyimide-Containing Extended π -Conjugated Systems with High Electron Affinity” J. Mater. Chem. C, 2013, 1, 5373-5380.
3. Y. Ie, T. Sakurai, S. Jinnai, M. Karakawa, K. Okuda, S. Mori, Y. Aso, “Three-Dimensional Electron-Accepting Compounds Containing Perylene Bis(dicarboximide)s as n-Type Organic Photovoltaic Materials” Chem. Commun., 2013, 49, 8386-8388.
4. Y. Ie, M. Ueta, M. Nitani, N. Tohnai, M. Miyata, H. Tada, Y. Aso, “Air-Stable n-Type Organic Field-Effect Transistors Based on 4,9-Dihydro-s-indaceno[1,2-b:5,6-b']dithiazole-4,9-dione Unit” Chem. Mater., 2012, 24, 3285-3293.
5. Y. Ie, K. Nishida, M. Karakawa, H. Tada, Y. Aso, “Electron-Transporting Oligothiophenes Containing Dicyanomethylene-Substituted Cyclopenta[b]thiophene: Chemical Tuning for Air-stability in OFETs” J. Org. Chem., 2011, 76, 6604-6610.

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 8 件

1.

発 明 者: 家 裕隆、櫻井隆裕、安蘇芳雄、上田将人

発明の名称: アクセプター性を有する化合物、これを用いた有機薄膜及び有機薄膜素子

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2011/2/17

出 願 番 号: 特願 2011-032205

2.

発 明 者: 家 裕隆、西田和史、安蘇芳雄、上田将人

発明の名称: 共役系化合物、並びにこれを用いた有機薄膜及び有機薄膜素子

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2011/2/18

出 願 番 号: 特願 2011-033737

3.

発 明 者: 家 裕隆、二谷真司、安蘇芳雄、上田将人

発明の名称: 縮合環化合物、有機薄膜及び有機薄膜素子

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2011/7/27

出 願 番 号: 特願 2011-164377

4.

発 明 者: 家 裕隆、黄 建明、安蘇芳雄、辛川 誠、上田将人

発明の名称: 重合体、この重合体を用いた有機薄膜及び有機薄膜素子

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2011/9/6

出 願 番 号: 特願 2011-194214

5.

発 明 者: 家 裕隆、陣内青萌、安蘇芳雄、寺井宏樹

発明の名称: 化合物、それを用いた有機半導体材料、有機トランジスタ及び有機太陽電池

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2012/3/8

出 願 番 号: 特願 2012-051968

6.

発 明 者: 家 裕隆、陣内青萌、安蘇芳雄、寺井宏樹

発明の名称: 化合物、並びに、該化合物を含有する有機半導体材料、有機半導体素子

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2012/9/3

出 願 番 号: 特願 2012-193416

7.

発 明 者: 家 裕隆、陣内青萌、安蘇芳雄、寺井宏樹

発明の名称: 化合物及び高分子化合物、並びに、該化合物又は高分子化合物を含有する有機半導体材料及び該有機半導体材料を用いた有機半導体素子

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2012/9/3

出 願 番 号: 特願 2012-193516

8.

発 明 者: 家 裕隆、黄 建明、安蘇芳雄、上田将人

発明の名称: 重合体、この重合体を用いた有機薄膜及び有機薄膜素子

出 願 人: 大阪大学、住友化学株式会社

出 願 日: 2012/9/6

出 願 番 号: 特願 2012-196331

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

主要な学会発表(国際学会:招待講演、口頭発表):10件

- (1) Y. Ie, J. Huang, M. Karakawa, Y. Aso, "Synthesis, Properties, and Photovoltaic Performances of Copolymers Containing Difluorodioxocyclopentene-annulated Thiophene or Naphtho[2,3-*c*]thiophene-4,9-dione"
21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21), Fukuoka, Japan, November 28– December 2, 2011
- (2) Y. Ie, M. Ueta, M. Nitani, N. Tohnai, M. Miyata, H. Tada, Y. Aso, "Air-Stable n-Type Organic Field-Effect Transistors Based on Multi-Ring-Fused System Containing Carbonyl-Bridged Thiazole"
2012 MRS Fall Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November 25–30, 2012
- (3) Y. Ie, M. Ueta, M. Nitani, Y. Aso, "4, 9-Dihydro-s-indaceno[1,2-b:5,6-b']dithiazole-4,9-dione : A New Electronegative Unit for an Air-Stable n-Type Organic Field-Effect Transistor "
The Twelfth International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, Kyoto, Japan, November 12–16, 2012
- (4) Y. Ie, Y. Aso, "Development of New π -Conjugated Systems for Organic Electronic Materials"
(Invited)
8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, Japan, December 10–11, 2012
- (5) Y. Ie, "Carbonyl-Bridged Thiazole-Based Conjugation Systems: Air-Stable n-Type Organic Field-Effect Transistors" (Invited)
International Symposium on Organic Electronics 2012, Okinawa, Japan, October 2–5, 2012
- (6) Y. Ie, "Development of Fluorine-Containing π -Conjugated Systems towards n-Type Organic Semiconducting Materials" (Invited)
4th International Fluorine Workshop, Tokyo, Japan, April 13–14, 2013
- (7) Y. Ie, M. Nitani, Y. Aso, "4, 9-Dihydro-s-indaceno[1,2-b:5,6-b']dithiazole-4,9-dione : A New Electronegative Unit for an n-Type Organic Semiconducting Materials"
The 11th International Symposium on Functional π -Electron System (Fp-11), Arcachon, Aquitaine, France, June 2–7, 2013.
- (8) Y. Ie, "Synthesis, Properties, and n-Type Performances of Electronegative π -Conjugated Systems" (Invited)
The first Asian conference for "MONODUKURI" Strategy by Synthetic Organic Chemistry (ACMS), Okinawa, Japan, July 17–19, 2013
- (9) Y. Ie, S. Jinnai, M. Nitani, M. Karakawa, Y. Aso, "Synthesis, Properties, and Electron-accepting Characteristics of New π -Conjugated System Bearing Dithiophthalimide Units"

15th International Symposium on Novel Aromatic Compounds (ISNA-15), Taipei, Taiwan,
July 28 – August 2, 2013.

- (10) Y. Ie, M. Karakawa, H. Yoshida, A. Saeki, H. Ohkita, Y. Aso, "Electron-Donor Function of
[6,6]-Phenyl-C₆₁-butyric Acid Methyl Ester in Bulk Heterojunction Solar Cells"
2013 MRS Fall Meeting, Boston, Massachusetts, USA, December 1-6, 2013
他、国際学会発表 3 件、国内学会発表 24 件

受賞: 3 件

- (1) 有機合成化学奨励賞 (2010 年 12 月)

「電子求引性架橋構造の構築法を鍵とする π 電子系 n 型トランジスタ材料の創製」

- (2) MMS 賞 (2013 年 3 月)

「有機薄膜素子の界面制御を指向した金電極修飾材料の創出」

- (3) 大阪大学総長奨励賞 (2013 年 3 月)

「エレクトロニクス素子応用を先導する機能性 π 電子系分子の創製の研究」

著書: 1 件

- (1) プリンテッドエレクトロニクスのすべて (分筆) 「有機エレクトロニクス材料の種類と特徴」
家 裕隆、日本工業出版、2012 年、50-54

総説・解説: 4 件

- (1) 電子求引性基の架橋構造を持つ π 電子系の開発と n 型有機電界効果トランジスタへの応
用

家 裕隆、有機合成化学協会誌 70 (2012) 24-35

- (2) プリンテッド・エレクトロニクスに向けた大気安定 n 型の有機トランジスタ材料の開発

家 裕隆、安蘇芳雄、未来材料 12 (2012) 8-14

- (3) 塗布法に適用可能な有機半導体材料の開発

家 裕隆、安蘇芳雄、月刊ディスプレイ 19 (2013) 1-8

- (4) 次元性を付与した含リレンイミド化合物の電子物性と光電変換特性

家 裕隆、安蘇芳雄、光化学 44 (2013) 73-80